Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 2, Summer 2024, p. 393-406

Investigating the Effect of Chicken Manure and Potassium Sulfate on Yield and Biochemical Traits of Fenugreek Medicinal Plant

M.H. Aminifard[1]*, S. Nadafan[2], H. Bayat[3], M. Jahani[4]

1- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences and Regional Plant Research Center, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: mh.aminifard@birjand.ac.ir)
2 and 3- M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran, respectively.
4- Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Birjand University, Iran

Received:	04-12-2023	**How to cite this article:** Aminifard, M.H., Nadafan, S., Bayat, H., & Jahani, M. (2024). Investigating the effect of chicken manure and potassium sulfate on yield and biochemical traits of fenugreek medicinal plant. *Journal of Horticultural Science*, *38*(2), 393-406. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85718.1307
Revised:	22-01-2024	
Accepted:	05-02-2024	
Available Online:	05-02-2024	

Introduction

The annual herb *Trigonella foenum-graecum* L. (Fabaceae) is cultivated worldwide as a semi-arid crop. It is commonly known as Fenugreek and used as both a spice and medicinal plant. Fenugreek is used to treat many ailments due to the presence of various bioactive compounds, like apigenin, luteolin, orientin, quercetin, vitexin, isovitexin, saponins, amino acids, phenols, alkaloids, etc. Combining chemical and organic fertilizers offers a sustainable approach to nutrient management. This integrated strategy enhances the effectiveness of chemical fertilizers, fosters improved soil health, and minimizes nutrient loss from the system.Chicken manure is one of the types of animal manure and a source of organic matter to strengthen all types of soil. In addition to having nutrients, it is one of the cheap fertilizers compared to common fertilizers in the production of crops, and it is richer in nitrogen than other animal fertilizers. Potassium is a critical element for plant growth and development, playing a vital physiological role in plant health and resilience against biotic and abiotic stresses.

Materials and Methods

To investigate the effect of chicken manure and potassium sulfate on yield and biochemical traits of the fenugreek medicinal plant, factorial research was conducted in the form of randomized complete block design in three replications in the crop year 2021-2022. Experimental treatments included chicken manure at three levels (0, 1000, and 2000 kg.ha^{-1}) and potassium sulfate at four levels (0, 1.5, 3, and 5 per thousand). To determine the seed yield after full ripening, the seeds were collected from one plant in each plot, weighed, and recorded. Arnon's method was used to measure the pigments in the leaves at the full flowering stage of the plant. To measure the amount of total phenolic compounds in the leaf using the Folin Cicalto method, antioxidant using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) method, total sugar using anthrone method, total flavonoid using aluminum chloride reagent method was used in the full flowering stage of the plant.

Results and Discussion

This experiment revealed that chicken manure significantly boosted crop yield and improved most biochemical traits, with the exception of sugar and antioxidant content.The amount of antioxidant activity decreased with

https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85718.1307

increasing levels of chicken manure and soluble sugar was not affected by this manure. Treatment of 2000 $kg.h^{-1}$ chicken manure has the highest phenol with 10.793 $mg.g^{-1}$ dry weight, flavonoid with 4.475 $mg.g^{-1}$ dry weight, Chlorophyll a with 2.591 $mg.g^{-1}$ of fresh weight, Chlorophyll b with 3.055 $mg.g^{-1}$ of fresh weight, and seed yield with 1185.8 $kg.h^{-1}$. Regarding the impact of Soluptas on biochemical traits, all except phenol and antioxidant content peaked at a concentration of three parts per thousand. Notably, these peak levels were statistically indistinguishable from those observed at five parts per thousand.Treatment of 5 per thousand Soluptas also increased 28% seed yield, 13% soluble sugar, 20% phenol, 31% flavonoid, and 97% chlorophyll b. In the interaction effect in the treatment, it was observed that the highest amount of the two fertilizers had the highest amount of yield and biochemical traits, except for the antioxidant, whose activity level decreased with the increase of fertilizer levels. The results showed that the highest amount of soluble sugar in fenugreek leaves was related to the level of no chicken fertilization with Soluptas 5 per thousand at the rate of 21.53 $mg.g^{-1}$ dry weight. The highest levels of both treatments (2000 $kg.h^{-1}$ of chicken manure and Soluptas 5 per thousand) caused an increase in grain yield (1396 $kg.h^{-1}$), phenol (12.86 $mg.g^{-1}$ DW), and chlorophyll b (3.62 $mg.g^{-1}$ FW) compared to no fertilization (control level). The highest amount of chlorophyll a was related to the interaction of 2000 $kg.h^{-1}$of chicken manure and Soluptas 3 per thousand at the rate of 3.11 $mg.g^{-1}$ of fresh weight.

Conclusion

Overall, chicken manure exhibited the strongest positive influence on the greatest number of traits among the single treatments. When considering the combined effects, a combination of 2000 parts per thousand chicken manure and 5 parts per thousand Soluptas appears to be optimal for enhancing the fenugreek plant's properties.

Keywords: Chlorophyll, Organic fertilizer, Phenol, Soluptas, Yield

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۳، ص. ٤۰٦-۳۹۳

بررسی تأثیر سطوح مختلف کود مرغی و سولفات پتاسیم بر صفات کیفی و پارامترهای بیوشیمیایی گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum- graceum* L.)

محمدحسین امینی‌فرد[1*]- سجاد ندادفان[2]- حسن بیات[3]- مهدی جهانی[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کود مرغی و سولفات پتاسیم بر میزان صفات بیوشیمیایی و عملکرد گیاه شنبلیه، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل کود پلیت مرغی در سه سطح (صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت کاربرد خاکی و سولفات پتاسیم (سولوپتاس) در چهار سطح (صفر، ۱/۵، ۳ و ۵ در هزار) به‌صورت محلول پاشی بودند. نتایج نشان داد که کود مرغی در همه صفات به‌جز میزان قند محلول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، سبب افزایش معنی‌دار صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه شنبلیله شد، به‌طوری‌که تیمار ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی، بالاترین میزان فنل (۱۰/۷۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، میزان فلاونوئید (۴/۴۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، کلروفیل a (۲/۵۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۳/۰۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و عملکرد دانه (۱۱۸۵/۸ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد. در تأثیر سولفات پتاسیم (سولوپتاس) بر صفات بیوشیمیایی شنبلیله مشاهده شد که همه صفات به‌جز میزان فنل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، همگی در سطح سه در هزار، دارای بالاترین میزان بودند که با سطح پنج در هزار اختلاف معنی‌داری نداشتند. نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که در تمام صفات به‌جز صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی، بالاترین میزان مصرف هر دو کود، بیشترین میزان صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند، به‌طوری‌که، بیشترین سطوح هر دو تیمار (۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و سولوپتاس ۵ در هزار) سبب افزایش عملکرد دانه، میزان فنل و کلروفیل b نسبت به سطح شاهد شد. بیشترین میزان کلروفیل a نیز مربوط به برهم‌کنش ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و سولوپتاس ۳ در هزار به‌میزان ۳/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر بود. در مجموع، در بین سطوح مورد بررسی در دو تیمار، سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و ۳ در هزار سولوپتاس برای دستیابی به افزایش عملکرد دانه و بهبود صفات بیوشیمیایی برای گیاه شنبلیله پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سولوپتاس، عملکرد، فنل، کلروفیل، کود آلی

مقدمه

شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) گیاهی یک ساله از خانواده Fabaceae به‌عنوان یک محصول نیمه خشک در سراسر جهان کشت می‌شود. به‌عنوان ادویه و هم به‌عنوان گیاه دارویی استفاده می‌شود. شنبلیله به‌دلیل وجود ترکیبات فعال زیستی مختلف مانند آپیژنین، لوتئولین، اورینتین، کورستین، ویتکسین، ایزوویتکسین، ساپونین‌ها، اسیدهای آمینه، فنل‌ها، آلکالوئیدها و غیره برای درمان بسیاری از بیماری‌ها استفاده می‌شود (Wani & Kumar, 2018).

از ارکان اصلی و مهم کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای آلی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف کاهش کاربرد کودهای شیمیایی است، زیرا کودهای آلی سبب تأمین سلامت انسان و محیط زندگی می‌شود و از طرفی، اهمیت کاربرد آن‌ها در مورد گیاهان که به‌طور مستقیم با

۱- دانشیار، گروه علوم باغبانی و مرکز پژوهشی گیاهان ویژه منطقه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*- نویسندهٔ مسئول: Email: mh.aminifard@birjand.ac.ir)
۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۴- دانشیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85718.1307

سلامت انسان در ارتباط هستند، محرز می‌باشد (Khalesro & Malekian, 2017). کاربرد کودهای دامی از جمله کود مرغی در بهبود شرایط خاک و رشد گیاه و عملکرد دانه مؤثر بوده و در صورت دسترسی به مقادیر زیاد آن می‌تواند مکمل مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد که در این میان، کود مرغی علاوه‌بر عناصر غذایی، دارای خواصی مانند آزادسازی تدریجی نیتروژن (کاهش آب‌شویی نیترات)، آزادسازی تدریجی ترکیبات پتاسیم و کلسیم (تنظیم pH خاک) و ماده آلی (افزایش ظرفیت نگهداری آب و موادغذایی) می‌باشد (Neisani *et al.*, 2011). کود مرغی یکی از انواع کودهای دامی و منبع ماده آلی برای تقویت انواع خاک‌هاست. علاوه‌بر داشتن مواد مغذی، یکی از کودهای ارزان قیمت در مقایسه با کودهای متداول در تولید گیاهان زراعی است و از نظر داشتن نیتروژن نسبت به سایر کودهای دامی غنی تر است (Lawrence *et al.*, 2008).

کودهای شیمیایی یکی از مهم‌ترین نهاده‌های کشاورزی پیشرفته است و اعمال آن در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی به عنوان سریع‌ترین رویکرد رفع نیازهای تغذیه‌ای گیاه در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه بسیار متداول و موفقیت‌آمیز بوده است (Al-Taai, 2021). مصرف بهینه کودها آسان‌ترین ، سریع‌ترین و کارآمدترین روش دستیابی به افزایش عملکرد در واحد سطح و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی است (Scharf *et al.*, 2005) و بدون اطمینان از تأمین تغذیه مناسب و متعادل گیاهان امکان دستیابی به عملکرد زیاد وجود ندارد.

پتاسیم یکی از عناصر اصلی و پرمصرف شیمیایی نقش اصلی در فعالیت رشد و نمو گیاهان دارد. همچنین، این عنصر دارای نقش فیزیولوژیکی در رابطه با سلامت گیاه و مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی است. کمبود پتاسیم به‌صورت ضعف در رشد و کاهش عملکرد کمّی و کیفی نمود پیدا می‌کند. نقش فیزیولوژیک پتاسیم شامل فعال کردن آنزیم‌ها، متعادل کردن سنتز ترکیبات آلی، روابط آبی گیاه و کنترل روزنه‌ها، فتوسنتز، انتقال مواد زیستی، پاسخ گیاه به تنش‌های خشکی، شوری، سرما و تنش‌های زیستی (Oosterhuis *et al.*, 2013) جلوگیری از پیری گیاه، حفظ ظرفیت مقصد در گیاه (Lv *et al.*, 2017) و تسریع در بهبود اثرات تنش خشکی در گیاهان می‌باشد (Zahoor *et al.*, 2017).

استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی به همراه کودهای آلی رویکرد پایدار برای استفاده کارآمد از عناصر غذایی است که باعث افزایش کارآیی کودهای شیمیایی، بهبود خواص فیزیکی خاک و کاهش تلفات مواد مغذی می‌گردد (Mahmood *et al.*, 2017). براساس نتایج به دست آمده از تحقیق تعدادی از محققان مصرف ترکیبی کودهای شیمیایی و آلی منجر به بهبود صفات کمّی و کیفی گردید (Birjely & Al-Atrushy, 2017; Fereidooni *et al.*, 2018). لذا با توجه به موارد اشاره شده و کمبود اطلاعات علمی در زمینه تلفیق کودها، در این پژوهش سعی در دستیابی به یافتن ترکیب کودی مناسب متشکل از کود مرغی (به‌عنوان کود آلی) و سولفات پتاسیم (به‌عنوان کود شیمیایی) برای افزایش صفات بیوشیمایی و عملکرد گیاه شنبلیله شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در اوایل سال ۱۴۰۰ در شهرستان قوچان در شمال استان خراسان رضوی انجام گردید. قبل از کاشت، پنج نمونه خاک از مکان‌های مختلف انتخاب شد. سپس، آن‌ها را ترکیب کرده و یک نمونه مرکب از آن‌ها تهیه و سپس برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات خاک آزمایش قبل از کاشت
Table 1- Characteristics of the experiment soil before planting

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	مواد آلی Organic matter (%)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (ppm)	ازت کل Total nitrogen (%)	آهک Lime (%)	بافت خاک Soil texture
8	1.1	0.57	1.5	90	0.055	37	لومی Loam

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف کود پلیت مرغی و محلول‌پاشی سولفات پتاسیم (به‌صورت کود تجاری سولوپتاس) بر خصوصیات فیزیولوژیکی شنبلیله، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول، شامل کود پلیت مرغی در سه سطح صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار و فاکتور دوم شامل کود سولوپتاس در چهار سطح صفر، ۱/۵، ۳ و ۵ در هزار بود. مشخصات تجزیه کود پلیت مرغی ۷۰ درصد و سولفات پتاسیم مورد استفاده در آزمایش در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات تجزیه کود پلیت مرغی ۷۰ درصد مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Characteristics of chicken manure decomposition of 70% used in the experiment

رطوبت حداکثر Maximum humidity (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی OC (%)	گوگرد کل Total sulfur (%)	پتاسیم محلول در آب K_2O (%)	فسفر قابل استفاده P_2O_5 (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)
10	8.42	4.28	20	7	2	1	2

جدول ۳- مشخصات تجزیه کودی سولفات پتاسیم مورد استفاده در آزمایش

Table 3- Characteristics of decomposition of potassium sulfate fertilizer used in the experiment

حداقل حلالیت Minimum solubility ($g.l^{-1}$)	حداکثر رطوبت Maximum humidity (%)	منگنز کلاته باEDTA Manganese chelate with EDTA (%)	مس کلاته با EDTA Copper chelated with EDTA (%)	روی کلاته با EDTA Zinc chelate with EDTA (%)	آهن کلاته با EDTA Iron chelate with EDTA (%)	گوگرد محلول در آب Sulfur soluble in water (%)	پتاسیم محلول در آب K_2O (%)
110	1.5	0.05	0.05	0.05	0.1	18	50

برای آماده‌سازی بستر کشت، ابتدا پس از شخم، دیسک و مسطح کردن خاک اقدام به کرت‌بندی زمین شد. ابعاد کرت آزمایش به‌میزان ۱/۵ در یک و فاصله بین کرت‌ها نیم متر در نظر گرفته شد. همچنین فاصله بین بلوک تا بلوک دیگر یک متر و فاصله کاشت بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر بود. عمق کاشت بذور شنبلیله نیز ۱/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کود پلیت مرغی را بر حسب سطح مورد بررسی قبل از کاشت به زمین داده شد. به‌منظور جلوگیری از سله بستن، روی بذرها با ماسه‌های ریز مخلوط با کود دامی پوشانده شد. سپس در مرحله ۴-۶ برگی برای رسیدن به تراکم مناسب تنک انجام شد. اولین آبیاری پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر شش روز یک بار تا آخر فصل رشد انجام شد. همچنین کود سولوپتاس به‌صورت محلول‌پاشی بعد از کاشت از مرحله شش برگی تا مرحله گل‌دهی طی سه نوبت به فاصله ۱۴ روز اعمال گردید. از زمان کاشت تا نمونه‌برداری، وجین و مبارزه با علف‌های هرز نیز انجام شد. بعد از اعمال تیمارها در مرحله گل‌دهی کامل و قبل از مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه، از هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شده و سپس نمونه‌هایی از برگ‌های توسعه یافته از ۱۰ بوته تهیه و صفات بیوشیمیایی شنبلیله اندازه‌گیری شدند.

جهت تعیین عملکرد دانه پس از رسیدگی کامل، دانه‌ها از یک بوته در هر کرت جمع‌آوری شده، توزین و ثبت شدند.

روش تهیه عصاره گیاهی: ابتدا یک گرم از بافت تازه برگی به همراه ۱۰ میلی لیتر متانول ۸۰ درصد در داخل هاون چینی کوبیده و له شد. قسمت بالای محلول حاصله، جدا گشته و سپس محلول به‌دست آمده، در دستگاه سانتریفیوژ به‌مدت ۱۰ دقیقه با دور ۶۰۰۰ قرار گرفت و بعد، فاز مایع رویی برداشته شده و به‌عنوان عصاره گیاهی استفاده گردید. عصاره به‌دست آمده تا زمان اندازه‌گیری صفات بیوشیمایی در داخل یخچال نگهداری شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ شنبلیله: جهت تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی یا همان میزان مهار رادیکال آزاد برگ شنبلیله از روش اندازه‌گیری کاهش ظرفیت رادیکالی و با کمک ۲،۲-دی‌فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) استفاده گردید (Turkmen *et al.*, 2005). لذا برای این منظور دو میلی‌لیتر از محلول اتانولی ۰/۱۵ میلی‌مولار DPPH به لوله آزمایش حاوی یک میلی‌لیتر عصاره برگ شنبلیله اضافه شد. سپس محلول حاصل به‌مدت ۳۰ ثانیه با دستگاه ورتکس مخلوط شد. بعد محلول به‌مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق تثبیت گردید. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر مدل (UNICO,2000,Germany) خوانده شد. سپس درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ گیاه از معادله ۱ محاسبه گردید

معادله (۱)

۱۰۰× جذب شاهد/ (جذب نمونه- جذب شاهد) = فعالیت آنتی‌اکسیدانی

اندازه‌گیری میزان فنل کل برگ شنبلیله: برای اندازه‌گیری میزان فنل کل برگ شنبلیله از روش اسید گالیک و معرف فولین سیوکالچو استفاده شد (Chuah *et al.*, 2008). بدین منظور، ۰/۵ میلی‌لیتر از معرف فولین سیوکالچو به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره برگ شنبلیله و استانداردهای اسید گالیک اضافه و سپس به محلول حاصل چهار میلی‌لیتر سدیم کربنات یک مولار اضافه شد. پس از ۱۵ دقیقه نگهداری در دمای محیط، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده شد. سپس مقدار کل ترکیبات فنلی نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک محاسبه گردید و در پایان، غلظت بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم عصاره برگ گزارش شد.

اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل برگ شنبلیله: میزان فلاونوئید کل برگ با استفاده از معرف آلومینیوم کلرید انجام گرفت (Serra Bonvehí *et al.*, 2001). به این ترتیب که به ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی برگ، ۰/۱ میلی‌لیتر از کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد افزوده سپس ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم یک میلی‌مولار افزوده و در پایان ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. بعد از گذشت مدت زمان ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه، جذب آن‌ها در ۴۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان فلاونوئید از روی منحنی استاندارد کوئرستین تعیین بر حسب میلی‌گرم در گرم عصاره بیان شد.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی: اندازه‌گیری رنگیزه‌های موجود در برگ در مرحله گل‌دهی کامل بوته اندازه‌گیری شد (Lichtenthaler, 1987)، استخراج کلروفیل از برگ توسط استون ۸۰ درصد صورت گرفت. مقدار ۰/۱ گرم از بافت تر بر هرکدام از تیمارها وزن شد. ساییدن برگ با استون تدریجی و تا حصول یک محلول سبز رنگ ادامه یافت. سپس، حجم محلول با استون به ۱۰ میلی‌لیتر رسید. محلول حاضر به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. پس از آن، جذب محلول رویی به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵ برای کلروفیل b و ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید ثبت شد.

کلروفیل a= (۱۲/۲۱ A۶۶۳ – ۲/۸۱ A۶۴۵) ×V/۱۰۰۰ W

کلروفیل b= (۲۰/۱۳ A۶۴۵ – ۵/۰۳ A۶۶۳) × V/۱۰۰۰W

کلروفیل کل = کلروفیل a + کلروفیل b

کاروتنوئید= (۱۰۰۰A۴۷۰–۳/۲۷ کلروفیل a– ۱۰۴ کلروفیل b)/۲۲۹

اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات (قند کل): جهت اندازه‌گیری قند کل برگ شنبلیله از روش معرف آنترون استفاده شد و میزان جذب نور هر یک از نمونه‌ها در طول موج ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Mocready *et al.*, 1950).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

میزان فنل کل گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده نشان داد که اثر ساده کود مرغی و سولوپتاس و همچنین، برهم‌کنش این دو کود، همگی در سطح یک درصد بر صفت فنل برگ شنبلیله معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های به‌دست آمده نشان داد که کود مرغی تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری با سطح عدم کوددهی نداشت، ولی سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی موجب افزایش معنی‌دار فنل شد، به‌نحویکه این سطح موجب افزایش ۱۷/۰۵ درصدی این صفت نسبت به عدم کوددهی شد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر ساده سولوپتاس بر فنل شنبلیله نشان داد که این تیمار تا سطح سه در هزار تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت، ولی سطح پنج در هزار سولوپتاس سبب افزایش ۱۶/۹۱ درصدی نسبت به شاهد شد (جدول ۵). اثر متقابل دو تیمار مورد بررسی بر میزان فنل نشان داد که بیشترین فنل در گیاه شنبلیله در برهم‌کنش کود مرغی ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و سولوپتاس ۵ در هزار مشاهده شد. بیشترین سطح تیمارها سبب افزایش ۵۸/۳۷ درصدی فنل نسبت به شاهد شد (جدول ۷).

یزدانی بیوکی و همکاران (Yazdani Biuki *et al.*, 2010) نیز به بررسی صفات کمّی و کیفی گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) در پاسخ به کودهای آلی، زیستی و شیمیایی پرداختند و تأثیر معنی‌دار مصرف انواع مختلف کودهای آلی و شیمیایی را در افزایش درصد روغن و مواد فنلی و فلاونوئیدی موجود در دانه (سیلی‌مارین و سیلین) گزارش نمودند.

با توجه به نقش ترکیبات فنلی در تأمین سلامت انسان‌ها امروزه تمایل شدیدی بین محققین صنایع غذایی در پرورش سبزی‌هایی که حاوی مقادیر بالای ترکیبات فنلی وجود دارد، لذا نخستین گام در راستای تحقق این امر مدیریت صحیح در مرحله پرورش سبزی‌ها مخصوصاً مدیریت تغذیه گیاه می‌باشد تا با تولید محصولات سالم از ابتلا به بیماری‌های مختلف مخصوصاً سرطان کاست (Vojodi Mehrabani, 2020).

براساس نتایج تحقیق صانعی و رضوی (Sanei & Razavi, 2018)، تغییر محتوای فنل کل تحت تأثیر محلول‌پاشی نیترات پتاسیم قرار گرفت که مشابه نتایج این تحقیق است. این نتایج با اثر پتاسیم بر افزایش ترکیبات فنلی در برنج (*Oryza sativa*) مطابقت دارد (Prasad *et al.*, 2010). تهرانی‌فر و تبار (Tehranifar & Tabar, 2009) بیان کردند که کاربرد برگی پتاسیم منجر به افزایش معنی‌دار رنگدانه‌های آنتوسیانین، ترکیب‌های فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی در آب میوه انار (*Punica granatum*) در مقایسه با شاهد شد. در مورد علت افزایش ترکیبات فنلی در اثر پتاسیم می‌توان گفت که پتاسیم رشد گیاه را افزایش داده و در نتیجه، باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود و به‌علت تخصیص کربن اضافی به مسیر اسید شیکمیک موجب افزایش ترکیبات فنلی می‌شود (Nguyen *et al.*, 2010). از طرف دیگر، ثابت شده است که پتاسیم با افزایش فعالیت آنزیم فنیل آالنین آمونیالیاز که آنزیم کلیدی در مسیر فنیل پروپانوئید است، میزان ترکیبات فنلی را افزایش می‌دهد (Soares *et al.*, 2005).

میزان فلاونوئید کل گیاه

داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که اثر ساده کود مرغی و سولوپتاس در سطح یک درصد بر میزان فلاونوئید کل گیاه معنی‌دار بودند، ولی اثر متقابل این دو فاکتور بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ساده کود مرغی نشان داد که با استفاده از این کود، میزان فلاونوئید نیز افزایش می‌یابد، امّا تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار فلاونوئید افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت؛ بیشترین میزان فلاونوئید شنبلیله در سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی به‌میزان ۴/۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و کمترین این صفت مربوط به عدم کوددهی به‌میزان ۳/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود. در اثر ساده سولوپتاس مشاهده شد که با افزایش میزان این صفت تا سطح ۱/۵ در هزار سولوپتاس افزایش معنی‌داری در میزان فلاونوئید مشاهده نشد، ولی سطح ۳ و ۵ در هزار سولوپتاس سبب افزایش معنی‌دار این صفت شد و این دو سطح اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵).

علت افزایش ترکیبات فلاونوئیدی در اثر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم نیز احتمالاً می‌تواند به‌دلیل تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم بر فتوسنتز گیاه و متابولیسم ترکیبات کربنی باشد که خود اساس تشکیل متابولیت های ثانویه می‌باشند و از این طریق، سنتز فلاونوئید را افزایش می‌دهد (Nojavan *et al.*, 2016). در بررسی انجام شده در گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) مشخص شد که کاربرد کودهای آلی در ترکیب با کودهای شیمیایی موجب افزایش محتوای فنل، فلاونوئید و اسید آسکوربیک گیاه شد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. افزایش عملکرد فنلی به تبعیت از افزایش عملکرد خشک منطقی به نظر می رسد. پژوهشگران دیگری نیز نقش مثبت کودهای آلی را در افزایش سنتز فلاونوئیدها در گیاهان گزارش کرده‌اند (Kheiry *et al.*, 2016). افزایش میزان فنل‌ها در کلم بروکلی (*Brassica olaracea*, var. Italica) پس از کاربرد کودهای آلی، نقش بارز این کودها را در بیوسنتز ترکیباتی که القاکننده مسیر اسید شیکمیک و در نهایت، بیشتر فلاونوئید و سایر ترکیبات فنلی است را تقویت می‌کند (Naguib *et al.*, 2012). ترکیبات فنلی موجود در سبزی‌ها نقش مهمی در از بین بردن رادیکال های آزاد اکسیژن دارند. رادیکال‌های آزاد موجب افزایش بیماری‌های قلبی، عروقی و سرطلان در موجودات زنده به‌دلیل آسیب به DNA و اسیدهای چرب غیراشباع می‌شود (Naguib *et al.*, 2012).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه

داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که اثر ساده کود مرغی و سولوپتاس در سطح یک درصد و همچنین، اثر متقابل این دو فاکتور نیز در سطح پنج درصد بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ساده کود مرغی نشان داد که با افزایش در هر سطح این کود، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز کاهش می‌یابد؛ به‌نحوی‌که بیشترین فعالیت این صفت شنبلیله در سطح عدم کوددهی مرغی به‌میزان ۴۵/۳۱ درصد و کمترین این صفت مربوط به سطح کوددهی ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌میزان ۳۷/۳۷ درصد بود. در مقایسه میانگین اثر ساده سولوپتاس بر فعالیت آنتی‌اکسیدانینشان داد که سولوپتاس سبب کاهش معنی‌دار صفت مذکور شد، ولی بین سطح ۰ و ۱/۵ در هزار سولوپتاس اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. سولوپتاس در سطح پنج در هزار سبب کاهش ۱۲/۹ درصدی فعالیت آنتی‌اکسیدانی شنبلیله نسبت به عدم کوددهی شد (جدول ۵). در اثر متقابل دو تیمار مورد بررسی، بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به سطح عدم کود مرغی به همراه سولوپتاس ۰، ۱/۵ و ۳ در هزار بود و کمترین میزان این صفت مربوط به سطح کود مرغی ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌همراه پنج در هزار سولوپتاس به‌میزان ۲۶/۹۴ درصد بود (جدول ۷).

برخی از مطالعات افزایش سطح آنتی‌اکسیدان‌ها را با افزایش پتاسیم نشان دادند (Tavallali *et al.*, 2018; Constán-Aguilar *et al.*, 2015)، درحالی‌که برخی دیگر هیچ تأثیری یا حتی کاهش سطح آنتی‌اکسیدان را نشان دادند (Taber *et al.*, 2008; Fanasca *et al.*, 2006). این نتایج متنوع ممکن است به‌دلیل محیط‌های کشت متفاوت باشد برای مثال، گلخانه (Constán-Aguilar *et al.*, 2015) یا زمین باز (Taber *et al.*, 2008) همراه با عوامل غیرزیست متناوب یا حتی به‌دلیل ارقام مختلف. با این وجود، پتاسیم، کاتیون اصلی در سیتوپلاسم سلولی است و به‌عنوان یک کوآنزیم در چندین فرآیند متابولیک عمل می کند (Zhao *et al.*, 2018). در نتیجه، آنتی‌اکسیدان‌های گیاه حاصل از مسیرهای مختلف متابولیسم ثانویه به‌دلیل افزایش سطح عرضه پتاسیم اثر خود را نشان می‌دهند. همچنین گزارش شده است که کود آلی برخلاف کود معدنی باعث افزایش سطح متابولیت‌های ثانویه مانند فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌شود (Salama *et al.*, 2015).

میزان قند محلول گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کود مرغی بر میزان قند محلول گیاه شنبلیله معنی‌دار نبود، ولی اثر ساده سولوپتاس و اثر متقابل این دو تیمار در سطح پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ساده سولوپتاس بر میزان قند محلول گیاه شنبلیله نشان داد که این تیمار تا سطح سه در هزار تفاوت معنی-داری نسبت به شاهد نداشت، ولی سطح پنج در هزار سولوپتاس سبب افزایش ۱۲/۱۱ درصدی نسبت به شاهد شد (جدول ۵). اثر متقابل

داده‌های به‌دست آمده نشان داد که سولوپتاس سه در هزار در برهم‌کنش با هر سطح از کود مرغی سبب تولید بالاترین سطوح میزان قند محلول شد. همچنین مشاهده شد که در سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی در برهم‌کنش با تمامی سطوح سولوپتاس به‌جز سطح پنج کیلوگرم در هکتار ، میزان قند محلول گیاه در بالاترین سطح بودند. در این بین نیز بیشترین قند محلول برگ شنبلیله مربوط به سطح عدم کوددهی مرغی به‌همراه سولوپتاس پنج در هزار به‌میزان ۲۱/۵۳ میلی گرم بر گرم وزن خشک بود که نسبت به سطح شاهد (عدم کوددهی) ۲۲/۷ درصد افزایش داشت (جدول ۷).

با افزایش میزان پتاسیم، میزان تثبیت دی‌اکسیدکربن به‌دلیل کارکرد مطلوب روزنه‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه، میزان فتوسنتز افزایش یافته و بدین ترتیب، تولید کربوهیدرات در برگ‌ها افزایش می یابد و این امر باعث افزایش ویژگی‌های رشدی می‌شود (Khaldbrin & Islamzadeh, 2014). پتاسیم آنزیم مسئول ساخت نشاسته را فعال می‌کند، بنابراین در شرایط کمبود پتاسیم میزان نشاسته کاهش یافته، امّا ترکیبات نیتروژنی و کربوهیدرات‌های محلول انباشته می‌شوند. میزان فعالیت فتوسنتزی بر سرعت ساخت قند جهت تولید نشاسته مؤثر است. هنگامی که میزان پتاسیم زیاد است، نشاسته از مکان‌های سنتز به اندام‌های ذخیره‌کننده انتقال می‌یابد (Zörb *et al.*, 2014).

کاربرد کودهای آلی باعث افزایش میزان قند گردیده است که این امر را می‌توان به افزایش رشد گیاه، افزایش جذب مواد غذایی و افزایش تولید مواد ثانویه در گیاه مرتبط نمود. ساکارز در تنظیم اسمزی و حفاظت گیاه در برابر سرما نیز نقش دارد. تولیدات متابولیکی نشاسته و ساکارز به‌عنوان واسطه گلیکولیز برای تولید اسکلت کربنی و ATP برای ساخت اسیدهای چرب و نوکلئوتیک‌ها به‌کار می‌روند (Kafi *et al.*, 2009). تجمع قندهای محلول در گونه‌هایی مانند بادام زمینی (*Arachis hypogaea*)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) و گیاهان دیگری چون گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، سویا (*Glycine max*) و جو (*Hordeum vulgare*) نیز مشاهده شده است. اسیدهای آلی می‌توانند باعث رشد بهتر گیاه شوند (Samavat *et al.*, 2017) و متعاقباً این رشد بیشتر، سبب افزایش میزان ویتامین‌ها و کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌شود.

میزان کلروفیل برگ گیاه

نتایج داده‌های به‌دست آمده نشان داد که اثر ساده کود مرغی و سولوپتاس و همچنین برهم‌کنش این دو کود، همگی در سطح پنج درصد بر میزان کلروفیل a برگ شنبلیله معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های به‌دست آمده نشان داد که کود مرغی تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری با سطح عدم کوددهی روی کلروفیل a نداشت، ولی سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی موجب افزایش معنی‌دار این صفت شد، به‌نحوی‌که سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی سبب افزایش ۱۳/۵ درصدی نسبت به عدم کوددهی داشت (جدول ۶). همچنین اثر ساده سولوپتاس بر صفت کلروفیل a نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به سطح سه در هزار سولوپتاس به‌میزان ۲/۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود (جدول ۵). در اثر متقابل دو تیمار مورد بررسی مشاهده شد که بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به برهم‌کنش ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و سولوپتاس سه در هزار به‌میزان ۳/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود؛ هر چند که از نظر آماری این برهم‌کنش تفاوت معنی‌داری با سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و عدم مصرف سولوپتاس نداشت (جدول ۸).

داده‌های به‌دست آمده از این تحقیق مشخص کرد که اثر ساده کود مرغی، سولوپتاس و اثر متقابل این دو تیمار در سطح یک درصد بر میزان کلروفیل b برگ شنبلیله معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های به‌دست آمده نشان داد که همانند کلروفیل a، کود مرغی تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری با سطح عدم کوددهی روی کلروفیل b نداشت، ولی سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی موجب افزایش معنی‌دار این صفت شد، به‌نحوی‌که سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی سبب افزایش ۲۸/۱۹ درصدی نسبت به عدم کوددهی داشت (جدول ۶). در اثر ساده سولوپتاس مشاهده شد که تا سطح ۱/۵ کیلوگرم در هکتار، سولوپتاس تأثیر معنی داری بر افزایش صفت کلروفیل b نداشت و بیشترین میزان این صفت مربوط به سطح پنج در هزار سولوپتاس بود که با سطح سه در هزار تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). بیشترین میزان هر دو تیمار (۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و سولوپتاس پنج در هزار) بالاترین میزان کلروفیل b (۳/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را به خود اختصاص دادند (جدول ۸).

مطابق گزارش‌ها یکی از مهم‌ترین نقش‌های پتاسیم، نقش کلیدی آن در فتوسنتز می‌باشد که به‌دلیل افزایش جذب دی‌اکسیدکربن و افزایش مستقیم رشد و شاخص سطح برگ نقش حیاتی در فتوسنتز دارد (Heakal *et al.*, 1990). همچنین بیان کردند که کودهای پتاسیم در ساخت مواد هیدروکربنی در گیاه و در نتیجه، بهبود فتوسنتز و رنگیزه‌های فتوسونتزی نقش دارند (Tabatabaei, 2018). در آزمایشی با عنوان اثر نانو کلات پتاسیم و کلسیم روی ویژگی‌های کمّی و کیفی ریحان (*Ocimum basilicum*) اعلام کردند که غلظت دو در هزار نانو کلسیم و شش در هزار نانوپتاسیم در مقایسه با نمونه شاهد بیشترین تأثیر مثبت را بر ارتفاع بوته، وزن خشک، سطح برگ، شاخص برداشت،

عملکرد بیولوژیک، درصد پتاسیم و ترکیبات کلروفیلی موجود در ریحان داشتهاند (Ghahremani *et al.*, 2014).

کودهای آلی دارای مواد آلی می‌باشند که به‌راحتی تجزیه شده و حاوی مقادیر زیادی نیتروژن می‌باشند (Ashnavar *et al.*, 2014). می توان اثر مثبت استفاده از کنسانتره کود مرغ روی رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ را این گونه استنباط کرد که با توجه به اینکه عمده ترکیبات رنگدانه‌های فتوسنتزی دارای ساختار نیتروژنی هستند، ازاین‌رو کاربرد کودهای با نیتروژن بالا می‌تواند تا حد زیادی منجر به افزایش مقدار آن‌ها در گیاه گردد (Zgallaï *et al.*, 2006). همچنین، نیتروژن ساختار اصلی تمامی آمینواسیدها در پروتئین‌ها و چربی‌ها می‌باشد که به‌عنوان ترکیبات ساختاری کلروپلاست فعالیت می‌کنند (Badr & Fekry, 1998; Arisha & Bradisi, 1999).

عملکرد دانه شنبلیله

نتایج داده‌های به‌دست آمده نشان داد که اثر ساده کود مرغی و سولوپتاس و همچنین برهم‌کنش این دو کود در سطح یک درصد بر صفت عملکرد دانه شنبلیله معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های به‌دست آمده نشان داد که کود مرغی تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری با سطح عدم کوددهی نداشت، ولی سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد، به‌نحوی‌که این سطح موجب افزایش ۱۹/۹ درصدی عملکرد دانه شنبلیله نسبت به عدم کوددهی شد (جدول ۶). جدول مقایسه میانگین اثر ساده سولوپتاس نشان داد که مصرف این کود سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شنبلیله نسبت به سطح شاهد شد، ولی اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف سولوپتاس وجود نداشت. عملکرد دانه در سطح پنج در هزار سولوپتاس به‌میزان ۱۱۴۵ کیلوگرم در هکتار و در سطح عدم کوددهی ۸۹۲ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۶). در جدول اثر متقابل داده‌های به‌دست آمده مشاهده شد که بیشترین سطوح هر دو تیمار سبب افزایش ۴۵/۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کوددهی (سطح شاهد) شد (جدول ۸).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر کاربرد کود مرغی و سولوپتاس بر صفات بیوشیمیایی و عملکردی شنبلیله

Table 4- ANOVA for the effect of chicken manure and Solupotas application on the biochemical and yield traits of fenugreek

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		فنل Phenol	فلاونوئید Flavonoid	آنتی‌اکسیدان Antioxidants	قند محلول soluble sugar	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	عملکرد دانه Seed yield
بلوک Block	2	0.344ns	0.455ns	3.131ns	15.73*	0.532*	0.007ns	219.44ns
کود مرغی Chicken manure	2	10.306**	3.136**	189.29**	4.510ns	0.384*	2.669**	168369**
سولوپتاس Solupotas	3	5.657**	2.129**	282.190**	9.554*	0.375*	1.431**	125437**
کود مرغی × سولوپتاس Chicken manure × Soluptas	6	8.169**	0.119ns	37.275*	8.182*	0.418*	0.632**	115351**
خطا Error	22	0.867	0.233	10.052	2.80	0.111	0.06	21395
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.49	12.41	7.69	8.70	13.97	9.77	13.74

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns are significant at 5% and 1% of probability levels, and non- significant, respectively.

جدول ۵- اثر ساده کود مرغی و کود سولوپتاس بر صفات بیوشیمیایی شنبلیله

Table 5- The simple effect of chicken manure and Solupotas fertilizer on the biochemical traits of fenugreek

تیمارها Treatments	فنل Phenol (mg.g-1 DW)	فلاونوئید Flavonoid (mg.g-1 DW)	آنتی‌اکسیدان Antioxidants (%)	قند محلول Soluble sugar (mg.g-1 DW)
کود مرغی Chicken manure (Kg.ha-1)				
0	8.952^b	3.532^b	45.31^a	18.59^a
1000	9.685^b	3.662^b	40.98^b	19.32^a
2000	10.793^a	4.475^a	37.37^c	19.81^a
سولوپتاس Soluptas (in 1000)				
0	9.092^b	3.376^b	46.59^a	17.85^b
1.5	9.579^ab	3.603^b	44.04^a	19.25^b
3	9.627^b	4.143^a	40.58^b	19.55^ab
5	10.943^a	4.437^a	33.68^c	20.31^a

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Numbers with the same letters in each column are not significant at the 5% of probability level based on the LSD test.

جدول ٦- اثر ساده کود مرغی و کود سولوپتاس بر کلروفیل برگ و عملکرد شنبلیله

Table 6- The simple effect of chicken manure and Solupotasfertilizer on the leaf chlorophyll and yield of fenugreek

تیمارها Treatments	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g-1 FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g-1 FW)	عملکرد دانه Seed yield (kg.h-1)
کود مرغی (کیلوگرم در هکتار) Chicken manure (kg.ha-1)			
0	2.248^b	2.198^b	949.17^b
1000	2.332^ab	2.285^b	1058.3^b
2000	2.591^a	3.055^a	1185.8^a
سولوپتاس Solupotas (in 1000)			
0	2.47^ab	1.959^b	892.22^b
1.5	2.25^b	2.525^b	1083.3^a
3	2.63^a	2.671^a	1136.6^a
5	2.19^b	2.894^a	1145.5^a

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Numbers with the same letters in each column are not significant at the 5% of probability level based on the LSD test.

جدول ۷- اثر متقابل کود مرغی × کود سولوپتاس بر صفات بیوشیمیایی شنبلیله

Table 7- The interaction effect of chicken manure ×Solupotas fertilizer on the biochemical traits of fenugreek

تیمارها Treatments		فنل Phenol (mg.g-1 DW)	آنتی‌اکسیدان Antioxidants (%)	قند محلول Soluble sugar (mg.g-1 DW)
کود مرغی Chicken manure (Kg.ha-1)	سولوپتاس *Solupotas* (in 1000)			
0	0	8.91^cde	49.28^a	16.64^e
	1.5	8.14^e	46.23^abc	17.16^cde
	3	10.13^bcd	44.83^abc	19.05^abcd
	5	8.61^de	40.89^c	21.53^a
1000	0	10.22^bc	43.05^bc	17.05^de
	1.5	8.35^e	44.58^abc	19.91^abc
	3	8.80^cde	43.10^bc	19.32^abcde
	5	11.35^ab	33.20^d	20.98^ab
2000	0	8.12^e	47.43^ab	19.85^abcd
	1.5	12.23^a	41.32^c	20.70^ab
	3	9.94^bcd	33.81^d	20.29^ab
	5	12.86^a	26.94^e	18.42^bcde

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Numbers with the same letters in each column are not significant at the 5% of probability level based on the LSD test.

جدول ۸- اثر متقابل کود مرغی × کود سولوپتاس بر عملکرد دانه و محتوی کلروفیل برگ شنبلیله

Table 8- The interaction effect of chicken manure ×Solupotas fertilizer on the yield and leaf chlorophyll content of fenugreek

تیمارها Treatments		عملکرد دانه Seed yield (kg.h-1)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g-1 FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g-1 FW)
کود مرغی Chicken manure (Kg.ha-1)	سولوپتاس Solupotas (in 1000)			
0	0	769e	2.16cde	2.29d
	1.5	730e	2.37bcde	2.10d
	3	1156abc	2.46bcde	2.11d
	5	1150abc	2.00de	2.26d
1000	0	946cde	2.43bcde	1.41e
	1.5	1260ab	1.91e	2.05d
	3	1136bcd	2.32bcde	2.87c
	5	890de	2.64abc	2.79c
2000	0	970cde	2.83a	2.16d
	1.5	1260ab	2.49bcd	3.41ab
	3	1116bcd	3.11a	3.01bc
	5	1396a	1.92e	3.62a

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Numbers with the same letters in each column are not significant at the 5% of probability level based on the LSD test.

در تأیید نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، صالحی و همکاران (Salehi *et al.*, 2017) با بررسی تغذیه گیاه دارویی شنبلیله با کودهای آلی و شیمیایی به این نتیجه رسیدند که کود تلفیقی در شنبلیله، عملکرد دانه را نسبت به کودهای شیمیایی افزایش داد. همچنین روستایی و فلاح (Rostaei & Fallah, 2016) بیشترین عملکرد دانه هر دو گیاه را از تیمار یک ردیف سیاهدانه + دو ردیف شنبلیله تغذیه شده از منبع کود تلفیقی (۵۰ درصد کود مرغی +۵۰ درصد کود شیمیایی) گزارش کردند. در آزمایشی که روی اثر نوع و مقدار کود دامی بر عملکرد پنبه (*Gossypium*) صورت گرفت، نتایج نشان داد که کود مرغی به‌میزان ۲۰ تن در هکتار بیشترین عملکرد پنبه را تولید کرد (Houshyarifard & Qaranchik, 2009). در نتایجی مشابه روی گیاه شنبلیله گزارش شده است که محلول‌پاشی پتاسیم در بالاترین سطح (۴۰۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ لیتر) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد کل نسبت به شاهد شد (Naser, 2017). همچنین در پژوهشی دیگر، عملکرد دانه شنبلیله در تیمار تغذیه شیمیایی (۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم) بیشترین افزایش را داشت (Esmaeilian & Jalali, 2022).

نتیجه‌گیری

در تولید گیاهان دارویی علاوه‌بر شرایط آب‌وهوایی، فاکتورهای خاکی نیز از اهمیت خاصی برخوردار هستند. عناصر غذایی نه تنها در افزایش میزان محصول گیاهان دارویی همانند بقیه گیاهان مؤثر هستند، بلکه کیفیت محصول تولیدی را نیز تغییر می‌دهند. استفاده از کود مرغی به‌خصوص در مناطق خشک و نیم خشک که عمدتاً از سطح ماده آلی پایین برخوردارند، علاوه‌بر افزایش ماده آلی خاک و فراهمی عناصر غذایی می‌تواند خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی این خاک‌ها را بهبود بخشد.

در صفات عملکرد و بیوشیمیایی این آزمایش مشاهده شد که کود مرغی در همه صفات به‌جز میزان قند محلول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، سبب افزایش معنی‌دار صفات عملکرد و بیوشیمیایی شد. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش سطح کود مرغی کاهش یافت و قند محلول تحت تأثیر این کود قرار نگرفت. در تأثیر سولوپتاس بر صفت بیوشیمایی مشاهده شد که همه صفات به‌جز میزان فنل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، همگی در سطح سه در هزار دارای بالاترین میزان بودند که با سطح پنج در هزار اختلاف معنی‌داری نداشتند. اثر متقابل تیمارها نشان داد که بالاترین سطح دو کود مصرفی، بیشترین میزان صفات عملکرد و بیوشیمیایی را دارا بود، به‌جز فعالیت آنتی‌اکسیدانی که با افزایش سطوح کودی، میزان فعالیت آن کاهش یافت. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که در بین سطوح مورد بررسی در دو تیمار، سطح ۲۰۰۰ کود مرغی و ۳ در هزار سولوپتاس برای دستیابی به افزایش عملکرد دانه و صفات بیوشیمیایی، برای گیاه شنبلیله پیشنهاد می‌گردد.

References

1- Al-Taai, S.H.H. (2021). The Effect of fertilizer uses on environmental pollution: A review. *Review of International Geographical Education Online*, *11*(5), 3620-3529 .

2- Arisha, H., & Bradisi, A. (1999). Effect of mineral fertilizers and organic fertilizers on growth, yield and quality of potato under sandy soil conditions. *Zagazig Journal Agriculture Research, 26,* 391-405.

3- Ashnavar, M., Bahmanyar, M.A., & Akbarpour, V. (2014). Investigation on the effect of different sources of fertilizers on growth indices and yield of coneflower (*Echinacea purpurea* L.) as a medicinal plant. *Journal of Agroecology, 6*(2), 266-274. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V6I2.39510

4- Badr, L., & Fekry, W. (1998). Effect of intercropping and doses of fertilization on growth and productivity of taro and cucumber plants. 1-vegetative growth and chemical constituents of foliage. *Zagazig Journal of Agriculture Research, 25*, 1087-1101 .

5- Birjely, H.M.S., & Al-Atrushy, S.M.M. (2017). Effect of some organic and non-organic fertilizers on some parameters of growth and berries quality of grape cv. Kamali. *Kufa Journal for Agricultural Sciences, 9*(3), 262-274.

6- Chuah, A.M., Lee, Y.C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L.J., & Matoba, T. (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry, 111*(1), 20-28 . https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.022

7- Constán-Aguilar, C., Leyva, R., Romero, L., Soriano, T., Blasco, B., & Ruiz, J.M. (2015). The effect of potassium biofortification over yield and nutritional quality of cherry tomato fruits. *American Journal of Advanced Food Science Technology, 3*(2), 67-93. https://doi.org/10.7726/ajafst.2015.1006

8- Esmaeilian, Y., & Jalali, A. (2022). Evaluation of quantitative, qualitative, and economic aspects of garlic (*Allium sativum* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) intercropping under organic and chemical nutrition systems. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *38*(1), 133-149. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.354814.3003

9- Fanasca, S., Colla, G., Maiani, G., Venneria, E., Rouphael, Y., Azzini, E., & Saccardo, F. (2006). Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *Journal of Agricultural Food Chemistry, 54*(12), 4319-4325. https://doi.org/10.1021/jf0602572

10- Fereidooni, M.J., Maghsoudi, E., Mojabghasroldashti, A., & Behzadi, Y. (2018). Investigation the effect of different fertilizing levels from various sources on yield, and grain quality of sweet corn. *Journal of Plant Ecophysiology, 10*(33), 79-89. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.20085958.1397.10.33.8.5

11- Ghahremani, A., Akbari, K., Yousefpour, M., & Ardalani, H. (2014). Effects of nano-potassium and nano-calcium chelated fertilizers on qualitative and quantitative characteristics of *Ocimum basilicum*. *International Journal for Pharmaceutical Research Scholars, 3*(12), 325-241 .

12- Heakal, M., Modaihsh, A., Mashhady, A., & Metwally, A. (1990). Combined effects of leaching fraction, salinity, and potassium content of waters on growth and water-use efficiency of wheat and barley. *Plant Soil*, *125*(2), 177-184. https://doi.org/10.1007/bf00010655

13- Houshyarifard, M., & Qaranchik, A. (2009). Effect of source and rate of manures on incidence and severity of important diseases, yield and yield components in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences, 11*(3), 237-248. (In Persian with English abstract). http://doi.org/20.1001.1.15625540.1388.11.3.4.8

14- Kafi, M.G., Zamani, S., & Ghoraishi, G. (2009). Relative them together. *New Phytologist*, *14*(1), 63-79 .

15- Khaldbrin, B., & Islamzadeh, T. (2014). *Mineral nutrition of higher plants.* Shiraz University. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-473542-2.x5000-7

16- Khalesro, S., & Malekian, H. (2017). Effects of vermicompost and humic acid on morphological traits, yield, essential oil content and component in organic farming of ajwan (*Trachyspermum ammi* L.). *Iranian Journal of Medicinal Aromatic Plants Research. 32*(6), 968-980. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109314

17- Kheiry, A., Arghavani, M., & Khastoo, M. (2016). Effects of organic fertilizers application on morphophysiological characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal Aromatic Plants Research, 31*(6), 1047-1057. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.105893

18- Lawrence, J.R., Ketterings, Q., & Cherney, J. (2008). Effect of nitrogen application on yield and quality of silage corn after forage legume- grass. *Agronomy Journal, 100*(1), 73-79. https://doi.org/10.2134/agronj2007.0071

19- Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *In Methods in Enzymology*, *148*, 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

20- Lv, X., Li, T., Wen, X., Liao, Y., & Liu, Y. (2017). Effect of potassium foliage application post-anthesis on grain filling of wheat under drought stress. *Field Crops Research*, *206*, 95-105. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.015

21- Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M., & Ullah, S. (2017). Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Journal of Soil Science Plant Nutrition*, *17*(1), 22-32. https://doi.org/10.4067/s0718-95162017005000002
22- Mocready, R., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. Application to peas. *Analytical Chemistry, 22*, 1156-1158. https://doi.org/10.1021/ac60045a016
23- Naguib, A.E.M. M., El-Baz, F.K., Salama, Z.A., Hanaa, H.A.E.B., Ali, H.F., & Gaafar, A.A. (2012). Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of broccoli (*Brassica olaracea*, var. Italica) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *11*(2), 135-142. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.03.001
24- Naser, A.A. (2017). Study of response *Trigonella foenum-graecum* to spraying with high potassium (Miller) and high phosphor (Agroleaf). *Tikrit Journal of Pure Science, 22*(9), 6-10. https://doi.org/10.25130/tjps.v22i9.866
25- Neisani, S., Fallah, S., & Raiesi, F. (2011). The effect of poultry manure and urea on agronomic characters of forage Maize under drought stress conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 21*(4), 63-74. (In Persian with English abstract)
26- Nguyen, P.M., Kwee, E.M., & Niemeyer, E.D. (2010). Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *Food Chemistry*, *123*(4), 1235-1241. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.092
27- Nojavan, S., Naseri, L., & Hasanpour, H. (2016). The effect of foliar spraying of potassium sulfate and zinc sulfate on some physical and chemical characteristics of red quince variety grapes. *Bi-quarterly Journal of Plant Production Technology*, *8*(2), 195-213. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22084/PPT.2016.1865
28- Oosterhuis, D.M., Loka, D.A., & Raper, T.B. (2013). Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management of cotton. *Journal of Plant Nutrition Soil Science*, *176*(3), 331-343. https://doi.org/10.1002/jpln.201200414
29- Prasad, D., Singh, R., & Singh, A. (2010). Management of sheath blight of rice with integrated nutrients. *Indian Phytopathology*, *63*(1), 11 .
30- Rostaei, M., & Fallah, S. (2016). Assessment of canopy characteristics and essential oil yeild of fenugreek and black cumin in intercropping under application of organic and chemical ferilizer. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 25*(4), 1-23. (In Persian with English abstract)
31- Salama, Z.A., El Baz, F.K., Gaafar, A.A., & Zaki, M.F. (2015). Antioxidant activities of phenolics, flavonoids and vitamin C in two cultivars of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in responses to organic and bio-organic fertilizers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 14*(1), 91-99. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.10.004
32- Salehi, A., Fallah, S., Abasi Sourki, A., & Tadayon, M.R. (2017). Evaluation of yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) under organic and chemical fertilizers *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *33*(2), 338-352. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.106802.1804
33- Samavat, S., Pazki, A.R., Laden Moghadam, A.R., & Samawat, S. (2017). *Applied principles of organic materials in agriculture*. Publications of Islamic Azad University, Garmsar branch. (In Persian)
34- Sanei, S.J., & Razavi, S.I. (2018). Effects of potassium nitrate on growth and photosynthetic pigments of basil under *Colletotrichum gloeosporioides* infection. *Horticultural Plants Nutrition*, *1*(1), 49-58. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22070/HPN.2018.454
35- Scharf, P.C., Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Davis, J.G., Hubbard, V.C., & Lory, J.A. (2005). Field- scale variability in optimal nitrogen fertilizer rate for corn. *Agronomy Journal*, *97*(2), 452-461. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0452
36- Serra Bonvehí, J., Soliva Torrentó, M., & Centelles Lorente, E. (2001). Evaluation of polyphenolic and flavonoid compounds in honeybee-collected pollen produced in Spain. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, *49*(4), 1848-1853. https://doi.org/10.1021/jf0012300
37- Soares, A.G., Trugo, L.C., Botrel, N., & da Silva Souza, L.F. (2005). Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comusus* L.) by preharvest soil application of potassium. *Postharvest Biology Technology*, *35*(2), 201-207. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.07.005
38- Tabatabaei, S.J. (2018). *Principles of plant mineral nutrition*. First edition, author's publications. Tabriz, Iran.
39- Taber, H., Perkins-Veazie, P., Li, S., White, W., Rodermel, S., & Xu, Y. (2008). Enhancement of tomato fruit lycopene by potassium is cultivar dependent. *HortScience*, *43*(1), 159-165. https://doi.org/10.21273/hortsci.43.1.159
40- Tavallali, V., Esmaili, S., & Karimi, S. (2018). Nitrogen and potassium requirements of tomato plants for the optimization of fruit quality and antioxidative capacity during storage. *Journal of Food Measurement Characterization*, *12*(2), 755-762. https://doi.org/10.1007/s11694-017-9689-9
41- Tehranifar, A., & Tabar, S.M. (2009). Foliar application of potassium and boron during pomegranate (*Punica granatum*) fruit development can improve fruit quality. *Horticulture Environment Biotechnology*, *50*(3), 191-196 .

42- Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y.S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, *93*(4), 713-718. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.038
43- Vojodi Mehrabani, l. (2020). The effects of organic and chemical fertilizers on some morphological and physiological traits of Petroselinum crispum *Journal of Plant Ecophysiology*, *12*(2), 86-96. (In Persian with English abstract). http://doi.org/20.1001.1.20085958.1399.12.41.8.5
44- Wani, S.A., & Kumar, P. (2018). Fenugreek: A review on its nutraceutical properties and utilization in various food products. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *17*, 97–106. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.01.007
45- Yazdani Biuki, R., Rezvani Moghaddam, P., Khazaie, H.R., & Astaraei, A. (2010). Qualitative and qualitative characteristics of milk thistle (*Silybum marianum* L.) in response to organic, biological and chemical fertilizers *Journal of Agroecology*, *2*(4), 548-555. (In Persian with English abstract). http://doi.org/0.22067/JAG.V2I4.8783
46- Zahoor, R., Zhao, W., Dong, H., Snider, J.L., Abid, M., Iqbal, B., & Zhou, Z. (2017). Potassium improves photosynthetic tolerance to and recovery from episodic drought stress in functional leaves of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Physiology Biochemistry*, *119*, 21-32. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.08.011
47- Zgallaï, H., Steppe, K., & Lemeur, R.J.J.O.I.P.B. (2006). Effects of different levels of water stress on leaf water potential, stomatal resistance, protein and chlorophyll content and certain anti‐ oxidative enzymes in tomato plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, *48*(6), 679-685. https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2006.00272.x
48- Zhao, X., Liu, Y., Liu, X., & Jiang, J. (2018). Comparative transcriptome profiling of two tomato genotypes in response to potassium-deficiency stress. *International Journal of Molecular Sciences*, *19*(8), 2402. https://doi.org/10.3390/ijms19082402
49- Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture–status and perspectives. *Journal of plant physiology*, *171*(9), 656-669. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008